



12 **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

21 Anmeldenummer: **92116125.3**

51 Int. Cl.<sup>5</sup>: **G01D 5/38**

22 Anmeldetag: **21.09.92**

43 Veröffentlichungstag der Anmeldung:  
**06.04.94 Patentblatt 94/14**

**Postfach 1260  
 D-83292 Traunreut(DE)**

84 Benannte Vertragsstaaten:  
**DE FR GB IT**

72 Erfinder: **Allgäuer, Michael, Dipl.-Phys.  
 Kienbergerstrasse 24  
 W-8221 Stein/Traun(DE)**

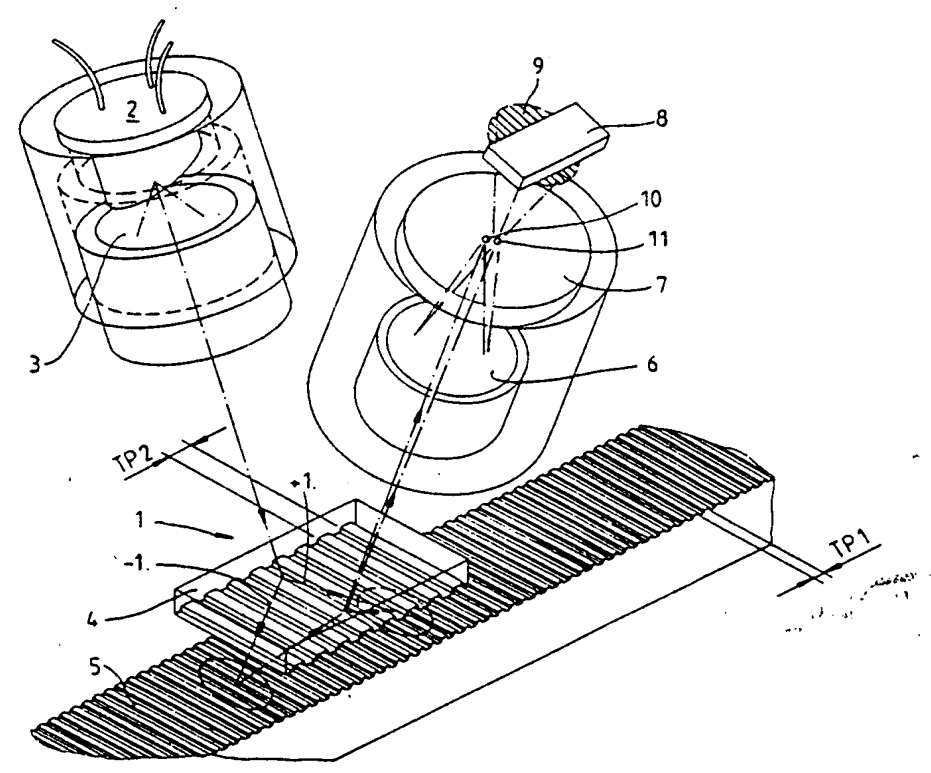
71 Anmelder: **Dr. Johannes Heidenhain GmbH  
 Dr.-Johannes-Heidenhain-Strasse 5**

54 **Längen- oder Winkelmesseinrichtung.**

57 In Figur 1 ist ein Längenmeßsystem dargestellt, bei dem die Teilungsperiode (TP1) des Maßstabgitters (5) ungefähr halb so groß ist wie die Teilungsperiode (TP2) des Abtastgitters (4). Dadurch verlaufen die Teilstrahlenbündel (-1. und +1.) nach dem letzten Gitterdurchgang geringfügig unparallel. In der

Brennebene einer Fokussierlinse (6) bilden sich zwei Foki (10 und 11) heraus. Die von diesen Foki (10 und 11) ausgehenden Kugelwellen erzeugen ein Interferenzstreifen-System (9), das mit einem Detektor (8) ausgewertet wird.

FIG. 1



EP 0 590 162 A1

Die Erfindung bezieht sich auf eine Längen- oder Winkelmeßeinrichtung gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

Die Erfindung geht von dem aus der europäischen Patentschrift EP- 0 163 362 -B1 bekannten Stand der Technik aus. Dieser Stand der Technik zeigt ein Dreigitterinterferometer, welches in praktischen Anwendungen dadurch, daß eines der Gitter reflektierend gemacht wird, auf zwei Gitterstrukturen reduziert wird. Die Auswertung der interferierenden Teilstrahlen ermöglicht das Feststellen der Größe und der Richtung der Relativverschiebung zwischen den beiden Gittern.

Eine Phasenverschiebung zwischen den von den Detektoren detektierten Beugungsordnungen ist deshalb erforderlich.

Die DE-23 16 248-A1 offenbart eine Vorrichtung zum Messen von Verschiebungen mit einem durchlässigen und einem reflektierenden Gitter. Drei Detektoren detektieren die Beugungsgruppen der nullten und der positiven und negativen zweiten Ordnung. Eine klare Offenbarung der Phasenbeziehungen zwischen den von den Detektoren, die nicht die Beugungsgruppen der ersten Ordnung detektieren, detektierten Lichtstrahlen fehlt.

Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Meßeinrichtung mit einer sehr hohen Auflösung und großzügiger Ausrichttoleranz unter Verwendung von feinen Gittern mit einer Teilungsperiode in einer Größenordnung von einem halben Mikrometer am Maßstabgitter anzugeben. Die Interferenzstreifen werden mit Fotodetektoren ausgewertet. Ein hoher Modulationsgrad, ein geringer Oberwellenanteil und ein einfacher und kleiner Aufbau sind ebenso erwünscht.

Diese Aufgabe wird von einer Längen- oder Winkelmeßeinrichtung mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst.

Die besonderen Vorteile bestehen darin, daß mit sehr feinen Teilungsperioden beim Maßstabgitter gearbeitet werden kann, so daß bereits vor einer späteren Signalinterpolation eine hohe Auflösung erzielt wird.

Die Erfindung wird nun anhand eines Beispiels und seiner Varianten unter Bezug auf die beiliegenden Zeichnungen beschrieben.

Dabei zeigt:

- Figur 1 ein optisches Schaubild einer erfindungsgemäßen Vorrichtung zum Messen von Verschiebungen;
- Figur 2 ein schematisches optisches Schaubild;
- Figur 3 ein schematisches optisches Schaubild einer Meßeinrichtung für zwei Dimensionen;
- Figur 4 zwei Blenden- Ausführungsformen und
- Figur 5 ein optisches Teil-Schaubild mit

Blende.

#### Einzelbeschreibung der Zeichnungen

Gemäß der Darstellung in Figur 1 enthält eine Längenmeßeinrichtung 1 eine Lichtquelle 2, einen Kollimator 3, ein Abtastgitter 4, ein reflektierendes Maßstabgitter 5, eine Fokussierlinse 6, eine Ringblende 7 und einen Fotodetektor 8, der ein Interferenzstreifen-System 9 detektiert. In einer praktischen Ausführungsform würden die Bauteile 2, 3, 4, 6, 7 und 8 an einem gegenüber dem reflektierenden Maßstabgitter 5 verschiebbaren Lesekopf angebracht sein. Die elektrischen Ausgangssignale des Fotodetektors 8 bilden ein Maß für die Richtung und Größe der Verschiebung des Lesekopfes gegenüber dem ortsfesten Maßstabgitter 5. Eine Linear- oder Winkelverschiebung zwischen den Elementen 4 und 5 kann bei entsprechendem Aufbau gemessen werden.

Die Besonderheit der gezeigten Längenmeßeinrichtung liegt darin, daß eine punktförmige Lichtquelle 2, nämlich eine Laserdiode, die Licht mit einer Wellenlänge von z.B. 780nm aussendet, verwendet wird.

Das Abtastgitter 4 weist eine Teilungsperiode TP2 auf, die näherungsweise doppelt so groß ist wie die Teilungsperiode TP1 des Maßstabgitters 5. Wichtig ist dabei, daß das Verhältnis nicht genau 2:1, sondern nur näherungsweise 2:1 ist. Das gezeigte Maßstabgitter 5 soll eine Teilungsperiode TP1 von 0,5µm haben, das zugehörige Abtastgitter 4 jedoch eine Teilungsperiode TP2 von 0,9982µm. Allerdings könnte diese Teilungsperiode auch 1,0018µm groß bzw. fein sein.

Das Maßstabgitter 5 und das Abtastgitter 4 sind parallel zueinander angeordnet. Der Lichtstrahl der Laserdiode 2 wird am Abtastgitter 4 in zwei erste Beugungsordnungen -1. und +1. aufgespalten.

Bedingt durch die ungefähr halbe Teilungsperiode TP1 des Maßstabgitters 5, das als Reflexionsmaßstab ausgebildet ist, entsteht jeweils ein gebeugter Teilstrahl, der - in Strichrichtung betrachtet - nahezu in sich selbst zurückläuft. In Figur 1 bedeutet das, daß die beiden reflektierten Teilstrahlenbündel der -1. und +1.Ordnung nahezu den gleichen Winkel zur Normalen auf das Maßstabgitter 5 einschließen, wie die einfallenden Teilstrahlenbündel dieser -1. und +1.Ordnung.

Nach der nochmaligen Beugung am Abtastgitter 4 weisen die durchtretenden Teilstrahlenbündel fast parallele Richtungen auf.

Der durch die geringfügige Abweichung des Verhältnisses der Teilungsperioden TP1/TP2 von einem ganzzahligen Verhältnis entstehende kleine Winkel zwischen den gebeugten Teilstrahlenbündeln führt dazu, daß in der Brennebene der Fokus-

sierlinse 6 zwei Foki 10 und 11 entstehen.

Die von den Foki 10 und 11 ausgehenden Kugelwellen erzeugen ein Interferenzstreifen-System, welches mit dem Detektor 8 ausgewertet wird. Eine Ringblende 7 blendet dabei andere Beugungsordnungen und Streulicht aus.

Derartige Blenden 7 sind in der Figur 4 gezeigt, auf die noch näher eingegangen wird.

Abweichend von der in Figur 1 gezeigten Anordnung, bei der die Lichtquelle 2 und der Detektor 8 in einer Ebene senkrecht zur Meßrichtung angeordnet sind, kann auch eine andere Anordnung erfolgen.

Gemäß Figur 2 sind die Laserdiode 22 und der Detektor 82 zwar auch in einer Ebene angeordnet, diese wird jedoch von einer Komponente in Meßrichtung und der Normalen auf das Maßstabgitter 5 aufgespannt.

Ein Strahlteiler 112 befindet sich im Strahlengang zwischen Laserdiode 22 und Detektor 82. Bei diesem Ausführungsbeispiel ist gut zu erkennen, daß die gebeugten Teilstrahlenbündel -1. und +1. nach der Reflexion am Maßstabgitter 52 in sich selbst zurücklaufen und nach erneuter Beugung am Abtastgitter 42 mit geringer Scherung auf den Strahlteiler 112 treffen. Der Strahlteiler 112 lenkt die unparallel verlaufenden Teilstrahlenbündel -1. und +1. auf eine Linse 62, von der sie fokussiert und auf eine Blende 72 geworfen werden. Nachdem die zur Auswertung zulässigen Teilstrahlenbündel die Blende 72 durchlaufen haben, fallen sie auf einen Detektor 82.

In Figur 3 ist sehr schematisiert gezeigt, daß bei entsprechendem Aufbau mit Hilfe von Kreuzgittern eine Längenmeßeinrichtung für zwei Dimensionen geschaffen werden kann.

Kern einer derartigen Meßeinrichtung sind sogenannte Kreuzgitter. Sowohl das Abtastgitter 43 als auch das Maßstabgitter 53 weisen eine Gitterteilung in zwei Koordinatenrichtungen auf. Daraus resultiert ein Kreuzgitter. Für diese Gitter gelten ebenfalls die erfindungsgemäßen Kriterien, weshalb zur Vermeidung von Wiederholungen auf das Vorstehende hingewiesen wird.

Der Punkt 23 symbolisiert einen von einer nicht dargestellten Lichtquelle ausgesendeten Lichtstrahl, der in dieser aufgefalteten Darstellung auf ein als Kreuzgitter ausgebildetes Abtastgitter 43 trifft. Am Kreuzgitter 43 wird der Lichtstrahl 23 in zueinander senkrecht verlaufende Teilstrahlenbündel -1. und +1. sowie -1.' und +1.' aufgespalten und gebeugt. Diese gebeugten Teilstrahlenbündel -1., +1., -1.', +1.' werden am Maßstabgitter 53, welches ebenfalls als Kreuzgitter ausgebildet ist, reflektiert und abermals gebeugt. Die nochmals gebeugten Teilstrahlenbündel -1., +1., -1.', +1.' sind nach dem Maßstab-Kreuzgitter 53 symbolisch dargestellt. In Analogie zum ersten und zweiten Ausführungsbei-

spiel in den Figuren 1 und 2 treten aufgrund der erfindungsgemäßen Bedingungen in der Brennebene einer ebenfalls nicht dargestellten Linse vier Foki auf, die als Punkte 10, 11 und 10', 11' schematisch dargestellt sind.

Die bereits in der Beschreibung von Figur 1 erwähnte Ringblende ist in zwei Ausführungsformen in Figur 4 dargestellt. Die Blende 7a weist zwei lichtdurchlässige Bereiche -71 und +71 auf, durch die die leicht unparallel verlaufenden Teilstrahlenbündel hindurchtreten können.

Eine Alternative stellt die Ausführungsform gemäß 7b dar. Hier ist der lichtdurchlässige Bereich  $\pm 71$  tatsächlich ringförmig, was die Justage erleichtert.

Schließlich ist in Figur 5 noch das optische Schema gemäß dem rechten Teil der Figur 2 gezeigt. Es wird deutlich, daß mit Hilfe der Blende 72 alle Beugungsordnungen außer der -1. und +1. herausgefiltert werden. Mit dem Symbol  $f$  ist angedeutet, daß sich die Blende 72 in der Brennebene der Linse 62 befindet.

## Patentansprüche

1. Interferentiell arbeitende Längen- oder Winkelmeßeinrichtung mit mehreren relativ zueinander verschiebbaren Gittern, die als Abtast- und als Maßstabgitter ausgebildet sind und die von einer Lichtquelle kommendes Licht beugen und ferner die gebeugten Teilstrahlenbündel zur Interferenz bringen, wobei die durch Interferenz entstehenden Intensitätsmodulationen der Teilstrahlenbündel durch wenigstens einen Detektor in zueinander phasenverschobene elektrische Signale umgewandelt werden, dadurch gekennzeichnet, daß das Maßstabgitter (5) eine Teilungsperiode (TP1) aufweist, die kleiner ist, als die Wellenlänge ( $\lambda$ ) des Lichtes, und daß das Abtastgitter (4) eine Teilungsperiode (TP2) aufweist, die näherungsweise, aber nicht genau doppelt so groß ist, wie die Teilungsperiode (TP1) des Maßstabgitters, und die größer als die Wellenlänge ( $\lambda$ ) des Lichtes ist.
2. Längen- oder Winkelmeßeinrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß aufgrund des Verhältnisses der Teilungsperioden  $(TP1)/(TP2) \approx 1/2$  nach der Beugung der Teilstrahlenbündel (-1., +1.) am letzten durchlaufenen Gitter (4) eine geringfügige Scherung der Teilstrahlenbündel (-1., +1.) auftritt, die in der Brennebene einer nachgeordneten Linse (6) zu mehreren Foki (10, 11) führt.
3. Längen- oder Winkelmeßeinrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die

Linse (6) eine Gradientenindex-Linse ist.

4. Längen- oder Winkelmeßeinrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die von den Foki (10, 11) ausgehenden Kugelwellen ein Interferenzstreifen-System (9) erzeugen. 5
5. Längen- oder Winkelmeßeinrichtung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß zwischen der Linse (6) und den Interferenzstreifen (9) eine Blende (7) angeordnet ist. 10
6. Längen- oder Winkelmeßeinrichtung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß das Interferenzstreifen-System (9) mittels eines strukturierten Detektors (8) ausgewertet wird. 15
7. Längen- oder Winkelmeßeinrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Lichtquelle (2) und der Detektor (8) in einer Ebene senkrecht zur Meßrichtung angeordnet sind. 20
8. Längen- oder Winkelmeßeinrichtung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Lichtquelle (2) und der Detektor (8) symmetrisch zur Normalen auf den Maßstab (5) angeordnet sind. 25
9. Längen- oder Winkelmeßeinrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Lichtquelle (2) und der Detektor (8) in einer Ebene angeordnet sind, die von einer Komponente in Meßrichtung, und der Normalen auf das Maßstabgitter (5) aufgespannt wird. 30
10. Längen- oder Winkelmeßeinrichtung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß sich im Strahlengang zwischen Lichtquelle (2) und Detektor (8) ein Strahlteiler (112) befindet. 35
11. Längen- oder Winkelmeßeinrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß an dem Ort der jeweiligen Foki (10, 11) wenigstens je ein Wellenleiter angebracht ist, der die Teilstrahlenbündel einem aus der integrierten Optik an sich bekannten 2x3-Koppler zuführt. 40
12. Längen- oder Winkelmeßeinrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß als Maßstab- und/oder Abtastgitter Phasen- und/oder Amplitudengitter verwendet werden. 45
13. Längen- oder Winkelmeßeinrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß als Maßstab- und Abtast-

gitter sogenannte Kreuzgitter (43, 53) verwendet werden.

14. Längen- oder Winkelmeßeinrichtung nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß mit Hilfe der Kreuzgitter (43, 53) eine Meßeinrichtung für zwei Dimensionen gebildet wird.

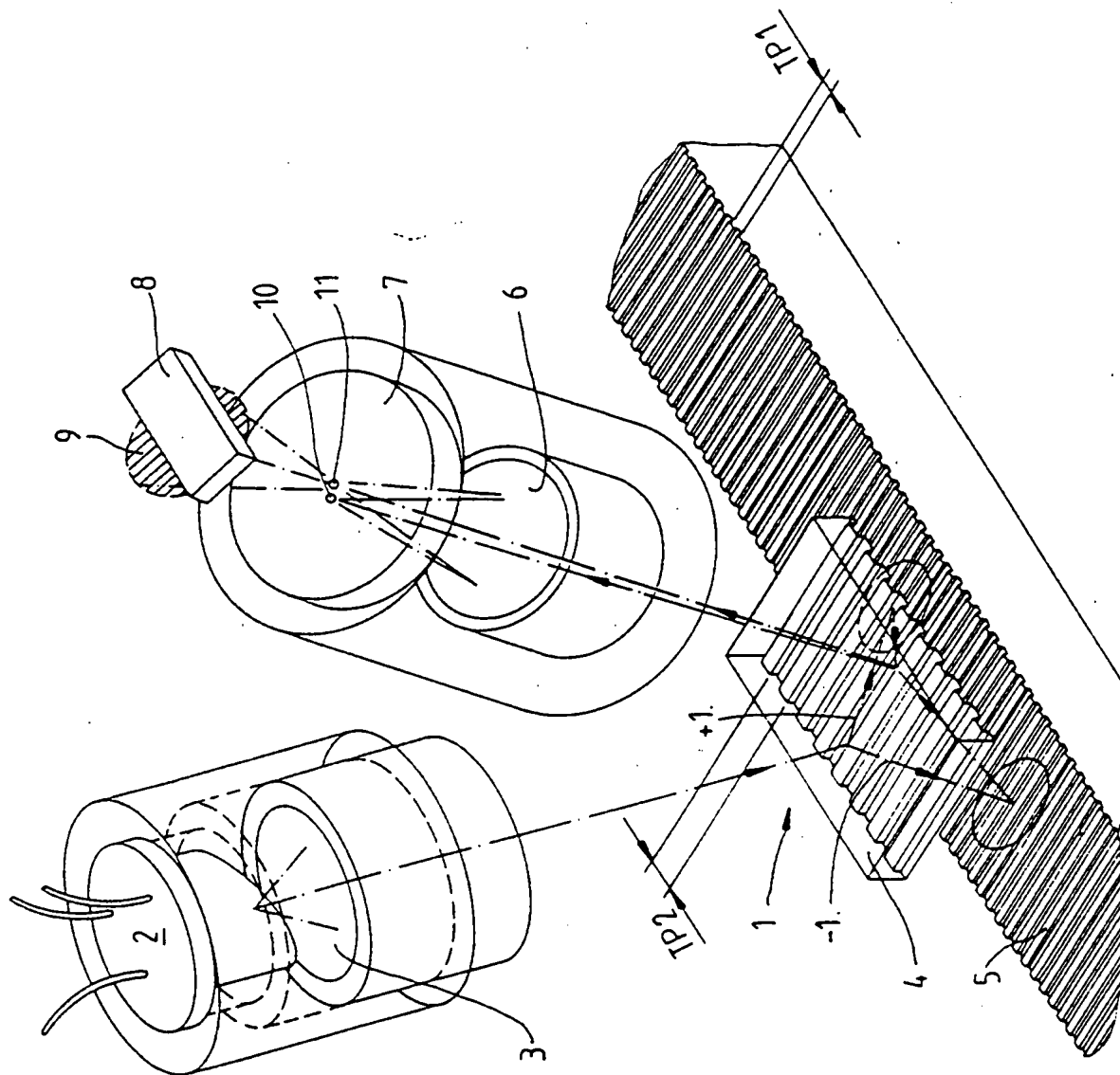


FIG. 1

FIG. 2

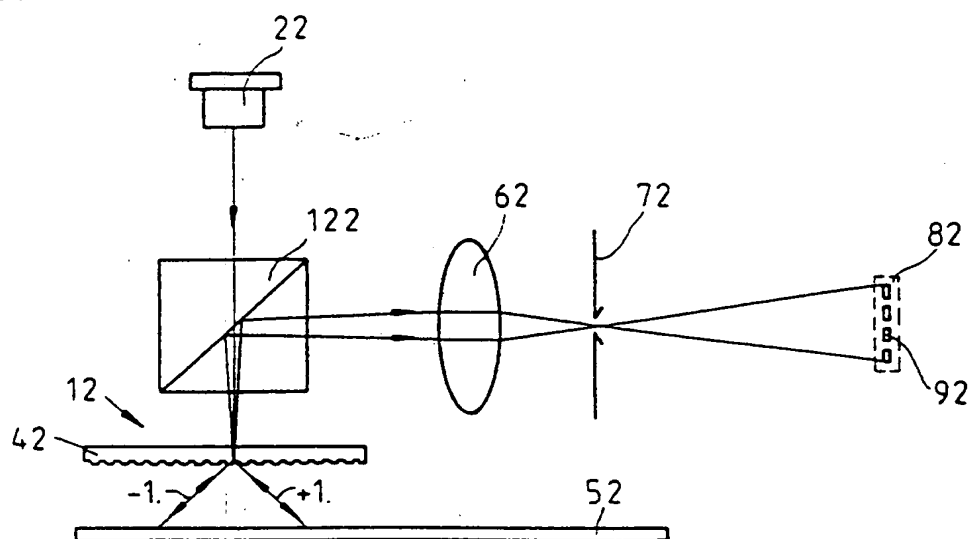


FIG. 3

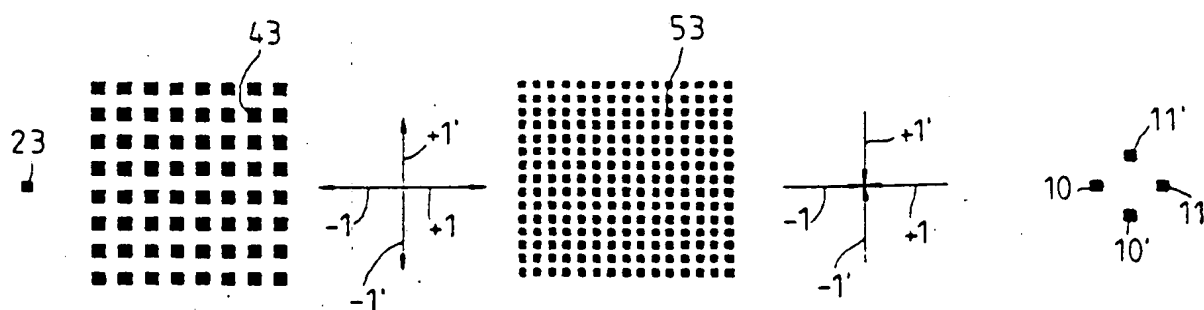


FIG. 4

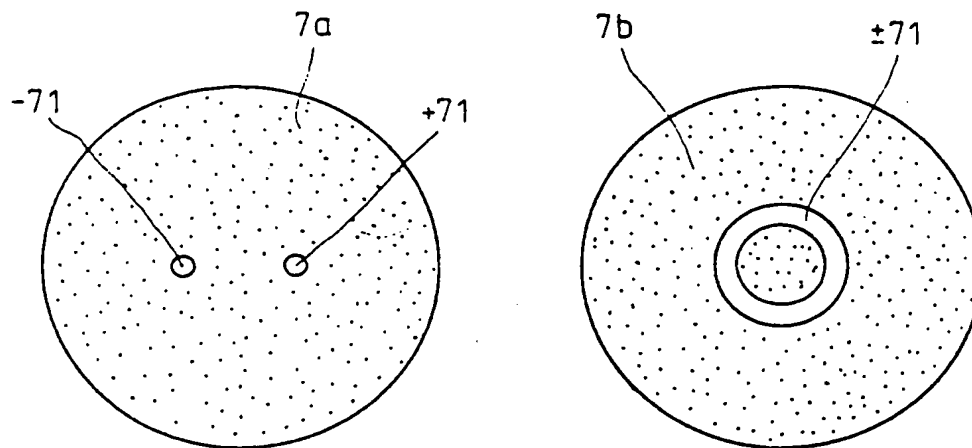
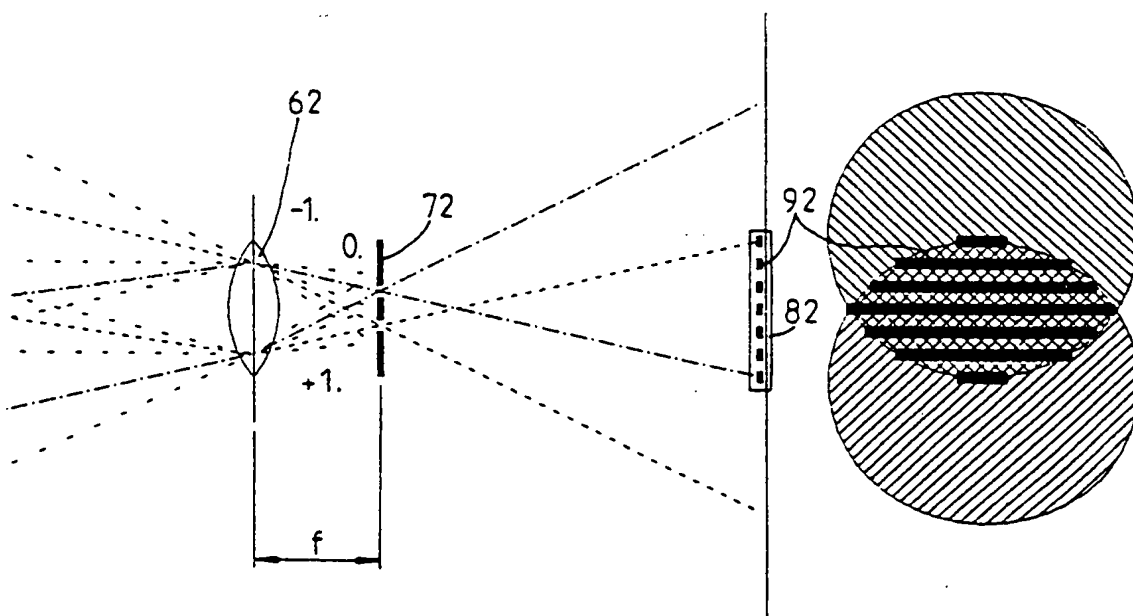


FIG. 5





Europäisches  
Patentamt

# EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EP 92 11 6125

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int. Cl.5)
A	GB-A-2 095 399 (MITUTOYO) * das ganze Dokument *	1	G01D5/38
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int. Cl.5)
			G01D
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenamt DEN HAAG		Abschlußdatum der Recherche 28 MAI 1993	Prüfer LLOYD P.A.
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE			
X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus andern Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

EPO FORM 130 (01.92) (P040)